PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-091342
(43)Date of publication of application : 31.03.2000

(51)Int.Cl. H01L 21/324

(21)Application number : 10-279367
(22)Date of filing : 14.09.1998

(71)Applicant : SHIN ETSU HANDOTAI CO LTD
(72)Inventor : AKIYAMA SHOJI
KOBAYASHI NORIHIRO

(54) HEAT TREATMENT OF SILICON WAFER AND SILICON WAFER

(57)Abstract:
PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce microroughness especially on the surface of a wafer, to improve the electrical characteristics of oxide film breakdown strength and the mobility of a carrier, to suppress the occurrence of slip rearrangement and the contamination of noble metal, to improve the yield and productivity and to reduce cost on the method of the heat treatment of a silicon wafer in a reductive atmosphere through the use of an RTA device.
SOLUTION: In a method for heat-treating a silicon wafer in a reductive atmosphere containing hydrogen by using rapid heating/quenching device, a natural oxide film on the surface of the silicon wafer is removed and is heat- treated in an inert gas atmosphere, the hydrogen concentration of which is 100% or which contains not less than 10% hydrogen.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	20.06.2000
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	12.11.2002
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	3478141
[Date of registration]	03.10.2003
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	2002-23777
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	11.12.2002
[Date of extinction of right]	

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12)公開特許公報（Ａ）　(11)特許出願公開番号
特開2000－91342
（P2000－91342A）
(43)公開日　平成12年３月31日(2000.3.31)

(51)Int.Cl.'	識別記号	ＦＩ		ﾃｰﾏｺｰﾄﾞ(参考)
Ｈ０１Ｌ　21/324		Ｈ０１Ｌ　21/324	Ｘ	
			Ｚ	

審査請求　未請求　請求項の数５　ＦＤ　（全　９　頁）

(21)出願番号　特願平10－279367

(22)出願日　平成10年９月14日(1998.9.14)

(71)出願人　000190149
信越半導体株式会社
東京都千代田区丸の内１丁目４番２号
(72)発明者　秋山　昌次
群馬県安中市磯部２丁目13番１号　信越半導体株式会社半導体磯部研究所内
(72)発明者　小林　徳弘
群馬県安中市磯部２丁目13番１号　信越半導体株式会社半導体磯部研究所内
(74)代理人　100102532
弁理士　好宮　幹夫

(54)【発明の名称】　シリコンウエーハの熱処理方法及びシリコンウエーハ

(57)【要約】
【課題】　シリコンウエーハをＲＴＡ装置を用いて、還元性雰囲気下で熱処理する方法に関し、特にウエーハ表面のマイクロラフネスを小さくして酸化膜耐圧やキャリアの移動度等の電気特性を改善すると共にスリップ転位の発生や重金属汚染を抑え、歩留りと生産性の向上並びにコストダウンを図る。
【解決手段】　急速加熱・急速冷却装置を用いてシリコンウエーハを水素を含む還元性雰囲気下で熱処理する方法において、該シリコンウエーハ表面上の自然酸化膜を除去した後、急速加熱・急速冷却装置を用いて、水素濃度１００％あるいは水素を１０％以上含有する不活性ガス雰囲気下で熱処理することを特徴とするシリコンウエーハの熱処理方法。

1

【特許請求の範囲】

【請求項１】　急速加熱・急速冷却装置を用いてシリコンウエーハを還元性雰囲気下で熱処理する方法において、該シリコンウエーハ表面上の自然酸化膜を除去した後、急速加熱・急速冷却装置を用いて、水素１００％あるいは水素を１０％以上含有するアルゴンおよび／または窒素との混合ガス雰囲気下で熱処理することを特徴とするシリコンウエーハの熱処理方法。

【請求項２】　前記熱処理を、温度９５０～１１５０℃で１～３００秒間行うことを特徴とする請求項１に記載したシリコンウエーハの熱処理方法。

【請求項３】　前記自然酸化膜の除去を、フッ酸処理により行うことを特徴とする請求項１または請求項２に記載したシリコンウエーハの熱処理方法。

【請求項４】　請求項１ないし請求項３のいずれか１項に記載の熱処理方法によって熱処理されたものであることを特徴とするシリコンウエーハ。

【請求項５】　マイクロラフネスが、原子間力顕微鏡で測定した２μｍ角のＰ－Ｖ値で１．００ｎｍ以下で、かつＲＭＳ値で０．１２ｎｍ以下であることを特徴とするシリコンウエーハ。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明はシリコンウエーハの熱処理方法に関し、特にシリコンウエーハ表面のマイクロラフネスを向上させ、スリップ転位の発生や重金属汚染を抑制できる熱処理方法とこの熱処理によって得られる半導体デバイス用として有用な高品質シリコンウエーハに関する。

【０００２】

【従来の技術】近年、ＭＯＳ－ＬＳＩの高集積化に伴い、ゲート酸化膜はますます薄膜化されている。そして、この薄い酸化膜の信頼性を得るために、シリコンウエーハの基板としての品質が重要視され、中でもウエーハ表面のマイクロラフネスが取り上げられている。

【０００３】さらに詳しくは、ＭＯＳ構造のトランジスターの集積度が上がるにつれて、それに付随してＭＯＳ構造の酸化膜直下のキャリア（電子およびホール）の移動度を向上させる必要がでてきた。ＣＰＵ（中央処理装置）の駆動周波数がますます高くなり、それに付随してメモリーの書き込みおよび読み出しの速度も当然高速化が求められ、キャリアの移動度の向上が重要な問題になっている。そして、酸化膜耐圧やキャリアの移動度等の電気特性に大きな影響を与える因子としてウエーハ表面のマイクロラフネス（ｍｉｃｒｏｒｏｕｇｈｎｅｓｓ）がデバイスの性能と信頼性に密接に関わっていることが知られてきた（Ｓｈｉｎｙａ　Ｙａｍａｋａｗａ　ｅｔ．ａｌ．，Ｊ．Ａｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．Ｖｏｌ．７９，ｐ．９１１，１９９６参照）。

【０００４】このウエーハ表面のマイクロラフネスを低減させるには、特別な装置、例えば超高真空装置を用いて、ウエーハ表面に電流を流す方法（安藤等、１９９５年第５６回応物講演会　予稿集２７ｐ－ＺＶ－１３参照）等があった。しかし、超高真空にするには長時間を要し、さらに真空から大気圧に戻すにも長時間かかり、その工程の間、パーティクルの付着に絶えず注意しなければならないという問題があった。

2

【０００５】また、このマイクロラフネスを向上させる方法としては、先に特願平１０－１７６６９３号を提案し、十分小さなマイクロラフネスが得られているが、熱処理を急速加熱・急速冷却装置を用いて、還元性雰囲気下、多段階で高温で実施するため、工程が複雑になり、生産性や装置の耐久性、スリップ転位の発生や重金属汚染等に問題が生じ得る。

【０００６】通常のシリコンウエーハには、自然酸化膜と呼ばれるSiO_2層が表面に形成されているために、これを除去するためには１２００℃程度の高温の水素アニールが必要となる。しかし、高温の水素アニールはスリップ転位の発生や系内からの重金属汚染等の問題があるため、プロセス全体の低温化とマイクロラフネスの向上を同時に達成する必要がある。プロセス全体の低温化は、今後、ウエーハの口径がさらに大きくなるにつれて、機械的強度が弱くなる際にはますます重要になると考えられる。

【０００７】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明はこのような問題点に鑑みなされたもので、本発明の目的とするところは、シリコンウエーハを急速加熱・急速冷却装置（以下、ＲＴＡ装置（Ｒａｐｉｄ Ｔｈｅｒｍａｌ Ａｎｎｅａｌｅｒ）ということがある）を用いて、還元性雰囲気下で熱処理する方法に関し、特に従来に比して低温の熱処理によりシリコンウエーハ表面のマイクロラフネスをより一層小さくして、酸化膜耐圧、キャリアの移動度等の電気特性を改善し、スリップ転位の発生や重金属汚染を抑え、急速加熱・急速冷却装置の本来的に有する、歩留りや生産性の向上、コストダウン等の利点を生かそうとするものである。

【０００８】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成すべく本発明の請求項１に記載した発明は、急速加熱・急速冷却装置を用いてシリコンウエーハを還元性雰囲気下で熱処理する方法において、該シリコンウエーハ表面上の自然酸化膜を除去した後、急速加熱・急速冷却装置を用いて、水素１００％あるいは水素を１０％以上含有するアルゴンおよび／または窒素との混合ガス雰囲気下で熱処理することを特徴とするシリコンウエーハの熱処理方法である。

【０００９】このように、シリコンウエーハを急速加熱・急速冷却装置を用いて還元性雰囲気下で熱処理する方法において、シリコンウエーハ表面上の自然酸化膜を除

去した後、急速加熱・急速冷却装置を用いて、水素１００％あるいは水素を１０％以上含有するアルゴンおよび／または窒素との混合ガス雰囲気下で熱処理を行えば、自然酸化膜を除去した状態を維持して、確実にウエーハ表面のマイクロラフネスを低減させることができると共に、ウエーハ表面に存在する結晶欠陥をも除去することができ、極低欠陥で電気特性に優れた半導体デバイス用として有用なシリコンウエーハを得ることができる。

【００１０】この場合、前記熱処理を、温度９５０～１１５０℃で１～３００秒間行うことができる（請求項２）。このように、急速加熱・急速冷却装置を用いて自然酸化膜を除去したウエーハに対して、従来よりも低温の熱処理を短時間に行えば、マイクロラフネスを著しく低減することができる。また、熱処理温度を比較的低温化したのでプロセス全体の温度も下がり、スリップ転位の発生は殆どなくなり、重金属汚染の問題も解決し、歩留が向上した。さらに昇降温に要する時間も熱エネルギーも節減できるので、生産性の向上とコストダウンを図ることができる。

【００１１】本発明の請求項３に記載した発明は、自然酸化膜の除去を、フッ酸処理により行うことを特徴とするシリコンウエーハの熱処理方法である。このように自然酸化膜であるSiO_2は、フッ酸（ＨＦ）中に浸漬する、あるいはＨＦガスを用いて気相で処理することで容易かつ確実に溶解、除去することができ、処理前の鏡面仕上げウエーハの本来的な平坦度、マイクロラフネス等に悪影響を及ぼすことは殆どない。

【００１２】さらに、このような本発明の熱処理方法によれば、ウエーハ表面のマイクロラフネスが向上するので、酸化膜耐圧、キャリア移動度等の電気特性が向上し、スリップ転位の発生が殆どなく、重金属汚染もない極めて高品質で半導体デバイス用として有用なシリコンウエーハを得ることができる（請求項４）。特には、請求項５に記載したように、マイクロラフネスが、原子間力顕微鏡で測定した２μm角のＰ－Ｖ値で１．００nm以下で、かつＲＭＳ値で０．１２nm以下であるシリコンウエーハを得ることができる。

【００１３】以下、本発明につきさらに詳細に説明する。本発明者らは、シリコンウエーハ表面に存在するマイクロラフネスを小さくして酸化膜耐圧、キャリア移動度を向上させる等の電気特性の改善を図り、高温熱処理で起こり易いスリップ転位の発生や重金属汚染等を回避することのできる熱処理条件につき、種々調査し、実験的に研究した結果、これには水素ガス１００％あるいは水素ガスを１０％以上含む不活性ガスからなる還元性雰囲気下の熱処理を、ＲＴＡ装置を用いて、自然酸化膜を除去したシリコンウエーハについて従来に比して低温の熱処理を行えば、マイクロラフネスの小さいシリコンウエーハを得ることができることを知見し、諸条件を精査して本発明を完成させたものである。

【００１４】従来のＲＴＡ装置を使用した水素アニールでは、シリコンウエーハ表面上に形成された自然酸化膜を除去するためには、１２００℃程度以上の高温の熱処理が必要であった。一般に水素雰囲気下、９００～１１００℃の範囲では、ＳｉとＳｉO_2のエッチング速度の比は、Ｓｉ／ＳｉO_2＝２～１００倍であり、ＳｉO_2の方がエッチング速度が遅いため、より高温を必要としたのである。

【００１５】そこで、ＲＴＡ装置による熱処理の前処理として、フッ酸処理を施し、ウエーハ表面に形成された自然酸化膜（ＳｉO_2）を除去しておけば、ＲＴＡ装置でＳｉO_2をエッチングする必要がなくなるため、プロセス全体の温度を低下させることができる。また、プロセスを従来に比して低温化しても、マイクロラフネスの減少については従来の１２００℃近辺の処理と同等もしくはそれ以上の効果を挙げることができると考え、実験により確認することとした。

【００１６】先ず、急速加熱・急速冷却装置によるシリコンウエーハの熱処理の適切な熱処理条件を確定するために下記のような実験を行った。熱処理装置にはＲＴＡ装置（急速加熱・急速冷却装置、シュティアック　マイクロテック　インターナショナル社製ＳＨＳ－２８００型）を使用した。

【００１７】シリコンウエーハはチョクラルスキー法により製造されたシリコンインゴットを、一般的に行なわれている方法でスライスして鏡面加工された、直径８インチ、結晶方位＜１００＞のものを用いた。そして、自然酸化膜を除去する方法としては、２％フッ酸（ＨＦ）溶液にシリコンウエーハを３分間浸漬する方法を用いた。こうして自然酸化膜の存在する試料と除去した試料の二種類を用意した。

【００１８】マイクロラフネスの測定は、ＡＦＭ（Ａｔｏｍｉｃ　Ｆｏｒｃｅ　Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ，原子間力顕微鏡、ＮａｎｏＳｃｏｐｅ－ＩＩ／デジタル　インスツルメント社製商品名）で、２μm角の面積で行った。熱処理前の鏡面仕上げウエーハのマイクロラフネスは、Ｐ－Ｖ値（山と谷の最大差）で１．１nm以上であり、また、ＲＭＳ値（二乗平均・平方根粗さ）は、０．１３nm以上であった。

【００１９】次いで熱処理の条件として、雰囲気ガス組成を、水素：２５容量％、アルゴン：７５容量％とし、処理温度は１０００～１２００℃、処理時間は１～３０秒とした。熱処理工程のダイヤグラムの一例を図１に示す。

【００２０】一連の実験結果を図２、図３に示す。図２は熱処理温度とマイクロラフネスのＰ－Ｖ値との関係を熱処理時間別、フッ酸処理の有無別に表している。図３は熱処理温度とマイクロラフネスのＲＭＳ値との関係を熱処理時間別、フッ酸処理の有無別に表している。また、表１はフッ酸処理したウエーハに対する熱処理条件

と得られたマイクロラフネス（ＲＭＳ値とＰ－Ｖ値）の関係を、表２は、フッ酸処理を施さないウエーハに対する熱処理条件と得られたマイクロラフネス（ＲＭＳ値とＰ－Ｖ値）の関係を表している。

【００２１】

【表１】

シリコンウエーハ：フッ酸処理により自然酸化膜を除去したもの

熱処理条件（℃・秒）	マイクロラフネス RMS（nm）	マイクロラフネス P－V（nm）
１０００・　１	０．１３	１．０２
１０００・　５	０．０９	０．８３
１０００・１０	０．１０	０．８８
１０００・３０	０．０９	０．７４
１０５０・　１	０．１０	１．０６
１０５０・　５	０．０９	０．７１
１０５０・１０	０．１０	０．８６
１０５０・３０	０．１０	０．８３
１１００・　１	０．０９	０．８０
１１００・　５	０．１１	０．９３
１１００・１０	０．１０	０．８０
１１００・３０	０．１１	１．０５
１１５０・　１	０．１０	０．８１
１１５０・　５	０．１１	０．８６
１１５０・１０	０．１２	０．８５
１１５０・３０	０．１１	０．９０
１２００・　１	０．１１	１．００
１２００・　５	０．１１	１．１７
１２００・１０	０．１０	０．９６
１２００・３０	０．１１	０．８７
参照：鏡面ウエーハ	０．１３	１．１０

走査領域：２μｍ×２μｍ

【００２２】

【表２】

シリコンウエーハ：フッ酸処理を施さないもの

熱処理条件（℃・秒）	マイクロラフネス RMS（nm）	マイクロラフネス P－V（nm）
1000・ 1	0．13	1．14
1000・ 5	0．14	1．12
1000・10	0．12	1．00
1000・30	0．12	3．12
1050・ 1	0．13	3．84
1050・ 5	0．22	3．02
1050・10	0．31	2．68
1050・30	0．36	2．33
1100・ 1	0．28	2．39
1100・ 5	0．30	2．05
1100・10	0．16	1．11
1100・30	0．14	1．15
1150・ 1	0．17	1．29
1150・ 5	0．13	1．12
1150・10	0．13	1．09
1150・30	0．11	0．89
1200・ 1	0．13	1．16
1200・ 5	0．12	0．93
1200・10	0．11	0．88
1200・30	0．11	0．84
参照：鏡面ウエーハ	0．13	1．10

走査領域：２μm×２μm

【００２３】これらの図と表から実験結果を考察すると、自然酸化膜が存在する場合（フッ酸処理を行わない場合）、水素アニール温度が１０００～１１５０℃の範囲ではマイクロラフネスはＲＭＳ値もＰ－Ｖ値もほぼ悪化する傾向もしくは同等（改善されない）の結果を示した。これは、水素により自然酸化膜の薄膜部が局所的にエッチングされ、さらにより速い速度でＳｉ層がエッチングされることによりピットが発生するためと考えられる。

【００２４】自然酸化膜が存在しない場合、例えばフッ酸で処理して除去した場合、水素アニール温度が１０００～１２００℃の範囲ではマイクロラフネスはＲＭＳ値もＰ－Ｖ値も向上した。これは、自然酸化膜が存在しないことにより、Ｓｉ層が均一にエッチングされるためと考えられる。

【００２５】この場合、１０００～１１００℃の比較的低温の領域でもマイクロラフネスを向上させることができる。鏡面仕上げウエーハのマイクロラフネスは、Ｐ－Ｖ値では１．１ｎｍ、ＲＭＳ値では０．１３ｎｍ程度であるが、自然酸化膜を除去してＲＴＡ装置で熱処理をした場合、１０００℃、３０秒の低温熱処理で、Ｐ－Ｖ値で０．７ｎｍ、ＲＭＳ値で０．０９ｎｍと大幅な改善を図ることができる。

【００２６】従って、自然酸化膜を除去すれば、熱処理温度を例えば９５０～１１５０℃として行うことができる。すなわち、従来のように、１２００℃以上としたのでは、スリップや汚染の問題が懸念されるので、１１５０℃以下とするのが良いし、十分マイクロラフネスを改善するには、９５０℃以上で処理した方が良い。また、熱処理時間としては、１秒以上とすれば十分に効果がある。そして、あまりに長く熱処理したのでは無駄であるので、３００秒以下とすればよい。

【００２７】以上述べたように本発明では、より一層のマイクロラフネスの向上と高温熱処理の弊害を避けることを目的に、シリコンウエーハに対して急速加熱・急速冷却装置を用いて還元性雰囲気下で熱処理するに当たり、表面の自然酸化膜を除去したウエーハに対して、熱処理することによって、従来の熱処理温度よりも５０℃以上低い比較的低温で行うことが可能になった。

【００２８】次に、還元性雰囲気の影響を不活性ガス中

水素ガス濃度を０～１００容量％に変化させて調べた。水素ガスの残分はアルゴンとした。シリコンウエーハは、鏡面加工された、直径８インチ、結晶方位＜１００＞のものを、２％フッ酸（ＨＦ）溶液に３分間浸漬して、自然酸化膜を除去した試料を用いた。処理温度は９５０、１０５０、１１５０℃の３水準、、処理時間は３０秒とした。熱処理工程のダイヤグラムの一例を図１に示す。

【００２９】参考のため、ヘイズ（ｐｐｍ）も測定した。測定にはＫＬＡテンコール社製のＳＰ－１を用いた。ちなみに、鏡面ウエーハのヘイズは０．０３ｐｐｍ程度、ＲＴＡ装置を用いて１２００℃で還元性雰囲気下に熱処理したウエーハは０．３ｐｐｍ程度、エピタキシャルウエーハは０．２ｐｐｍ程度である。０．３ｐｐｍ程度であれば、半導体デバイス工程には全く問題のないレベルである。

【００３０】一連の実験結果を図５、図６および図７に示す。図５は水素ガス濃度とヘイズとの関係を熱処理温度別に表している。図６は水素ガス濃度とマイクロラフネスのＰ－Ｖ値との関係を熱処理温度別に、図７は水素ガス濃度とマイクロラフネスのＲＭＳ値との関係を熱処理温度別に表している。

【００３１】これらの図から実験結果を考察すると、自然酸化膜が存在しない場合、水素濃度１０％以上１００％以下の範囲ではマイクロラフネスはＲＭＳ値もＰ－Ｖ値も十分改善されてほぼ一定値を示している。しかし水素濃度が１０％未満になると急激に悪化し、水素濃度０％では鏡面ウエーハの数倍にまで悪化してしまう。参考のため、ヘイズを測定したが、これも図５のようにマイクロラフネスと同様の傾向を示した。ただし、温度の影響が若干あり、高温になるほど改善される傾向を示した。

【００３２】以上の結果は、水素にはウエーハ表面のＳｉと反応してＳｉのマイグレーションが起こり、表面を平坦化する（ヘイズが向上する）作用があることを示している。しかし、水素の濃度が薄いと、この作用が不十分のため、表面が粗れ、ヘイズが悪化する現象が起こる（図５参照）。このような現象が起こるのは、アルゴンや窒素ガスのような不活性ガスには、表面を平坦化する作用は全くないからである。この現象はマイクロラフネスにおいても同様で、水素濃度が０～１０％では濃度が薄いためマイクロラフネスは濃度が薄くなるほど悪化している（図６、図７）。従って、熱処理の還元性雰囲気は水素１００％または水素を１０％以上含有するアルゴンおよび／または窒素との混合ガス雰囲気とするのが望ましい。

【００３３】以上述べた熱処理方法で熱処理すれば、マイクロラフネスは従来の高温熱処理の場合よりもより一層向上し、酸化膜耐圧、キャリア移動度等の電気特性の向上を図ることができる。また、比較的低温化することによってスリップ転位の発生が殆どなく、重金属汚染もない極めて高品質で半導体デバイス用として有用なシリコンウエーハを得ることができる。さらに熱処理の低温化に伴い急速加熱・急速冷却装置における昇降温に要する時間も熱エネルギーも節減できるので、歩留りと生産性の向上ならびにコストダウンを図ることができる。

【００３４】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明するが、本発明は、これらに限定されるものではない。ここで、図４に本発明で用いたシリコンウエーハを還元性雰囲気下で急速加熱・急速冷却できる装置の一例を示す。

【００３５】図４の熱処理装置１０は、例えば炭化珪素あるいは石英からなるベルジャ１を有し、このベルジャ１内でシリコンウエーハを熱処理するようになっている。加熱は、ベルジャ１を囲繞するように配置される加熱ヒータ２，２’によって行う。この加熱ヒータは上下方向で分割されており、それぞれ独立に供給される電力を制御できるようになっている。加熱ヒータ２，２’の外側には、熱を遮蔽するためのハウジング３が配置されている。もちろん、熱処理装置および加熱方式は、これに限定されるものではなく、いわゆる輻射加熱、高周波加熱方式としてもよい。

【００３６】炉の下方には、水冷チャンバ４とベースプレート５が配置され、ベルジャ１内と、外気とを封鎖している。そしてシリコンウエーハ８はステージ７上に保持されるようになっており、ステージ７はモータ９によって上下動自在な支持軸６の上端に取りつけられている。水冷チャンバ４には横方向からウエーハを炉内に出し入れできるように、ゲートバルブによって開閉可能に構成される不図示のウエーハ挿入口が設けられている。また、ベースプレート５には、ガス流入口と排気口が設けられており、炉内ガス雰囲気を調整できるようになっている。

【００３７】以上のような熱処理装置１０によって、自然酸化膜を除去したシリコンウエーハの水素を含む還元性雰囲気下、急速加熱・急速冷却する熱処理は、例えば図１に示したようなダイヤグラムに従って行われる。

【００３８】まず、熱処理は、加熱ヒータ２，２’によってベルジャ１内を、例えば９５０～１１５０℃の所望温度に加熱し、その温度に保持する。分割された加熱ヒータそれぞれを独立して供給電力を制御すれば、ベルジャ１内を高さ方向に沿って温度分布をつけることができる。従って、ウエーハの熱処理温度は、ステージ７の位置、すなわち支持軸６の炉内への挿入量によって決定することができる。

【００３９】ベルジャ１内が所望温度で維持されたなら、熱処理装置１０に隣接して配置される、不図示のウエーハハンドリング装置によってシリコンウエーハを水冷チャンバ４の挿入口から入れ、最下端位置で待機させ

たステージ７上に例えばＳｉＣボートを介してウエーハ８を乗せる。この時、水冷チャンバ４およびベースプレート５は水冷されているので、ウエーハはこの位置では高温化しない。

【００４０】そして、シリコンウエーハ８のステージ７上への載置が完了したなら、すぐにモータ９によって支持軸６を炉内に挿入することによって、ステージ７を９５０℃～１１５０℃の所望温度位置まで上昇させ、ステージ上のウエーハに熱処理を加える。この場合、水冷チャンバ４内のステージ下端位置から、所望温度位置までの移動には、例えば２０秒程度しかかからないので、ウエーハは急速に加熱されることになる。

【００４１】そして、ステージ７を所望温度位置で、所定時間停止（１～３００秒）させることによって、ウエーハに水素を含む還元性雰囲気下で停止時間分の比較的低温の熱処理を加えることができる。所定時間が経過し比較的低温の熱処理が終了したなら、すぐにモータ９によって支持軸６を炉内から引き抜くことによってステージ７を下降させ、水冷チャンバ４内の下端位置とする。この下降動作も、例えば２０秒程度で行うことができる。ステージ７上のシリコンウエーハ８は、水冷チャンバ４およびベースプレート５が水冷されているので、急速に冷却される。最後に、ウエーハハンドリング装置によって、シリコンウエーハを取り出すことによって、熱処理を完了する。

【００４２】さらに熱処理するシリコンウエーハがある場合には、熱処理装置１０の温度を降温させていないので、次々にシリコンウエーハを投入し連続的に熱処理を行うことができる。

【００４３】以上、熱処理の一例として、ＲＴＡ装置による熱処理を説明したが、本発明でいう急速加熱・急速冷却装置（ＲＴＡ装置）を使用する急速加熱・急速冷却する熱処理とは、上記温度範囲に設定された熱処理炉中にウエーハを直ちに投入し、上記熱処理時間の経過後、直ちに取り出す方法の他、ウエーハを熱処理炉内の設定位置に配置した後、ランプ加熱器等で直ちに加熱処理する方法であってもよい。この直ちに投入し、取り出すというのは、従来より行われている一定時間での昇温、降温操作や熱処理炉内にウエーハを、ゆっくり投入し、取り出すいわゆるローディング、アンローディング操作を行わないということである。ただし、炉内の所定位置まで運ぶには、ある程度の時間を有するのは当然であり、ウエーハを投入するための移動装置の能力に従い、数秒から数分間で行われるというものである。

【００４４】そして、上記還元性の熱処理雰囲気としては、水素１００％雰囲気あるいは水素の還元力を調整したり安全上等の理由から、水素を１０％以上含有するアルゴンおよび／または窒素との混合ガス雰囲気とすることができる。この場合、混合ガス中水素濃度を２０～７０％程度にするのが好ましい。このような還元性熱処理雰囲気とすれば、自然酸化膜を除去した状態を保持し、確実にウエーハ表面のマイクロラフネスを改善することができると共に、シリコンウエーハの表面に存在する結晶欠陥の改善を図ることも可能である。

【００４５】本発明における自然酸化膜の除去は、フッ酸処理により行うのが望ましい。例えばウエーハを２％ＨＦ水溶液に３分間程度浸積すれば充分である。また、水素雰囲気中に１％程度のＨＦガスが含まれる気相で約５分間処理してもよい。このように自然酸化膜であるSiO_2は、フッ酸（ＨＦ）中に浸漬することや気相中で処理することで容易にかつ確実に溶解、除去することができ、処理前の鏡面仕上げウエーハの本来的な平坦度、マイクロラフネス等に悪影響を及ぼすことは殆どない。

【００４６】さらに、このような本発明の熱処理方法によれば、シリコンウエーハ表面のマイクロラフネスが小さくなるので、酸化膜耐圧、キャリア移動度等の電気特性が向上し、スリップ転位の発生や重金属汚染が殆どない、極めて高品質で半導体デバイス用として有用なシリコンウエーハを、高い歩留りと高生産性によって得ることができる。特には、マイクロラフネスが、原子間力顕微鏡で測定した２μｍ角のＰ－Ｖ値で１．００ｎｍ以下で、かつＲＭＳ値で０．１２ｎｍ以下であるシリコンウエーハを得ることができる。

【００４７】尚、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【００４８】例えば、上記実施形態では図４に示したような熱処理装置を用いたが、本発明はこのような装置により行わなければならないものではなく、シリコンウエーハを急速加熱・急速冷却することができる熱処理装置で、９５０℃以上に加熱することができるものであれば、原則としてどのようなものであっても用いることができる。

【００４９】また、上記実施形態においては、直径８インチのシリコンウエーハを熱処理する場合につき説明したが、本発明は原則としてウエーハ直径に拘らず適用できるものであり、例えば、直径１０～１６インチあるいはそれ以上のシリコンウエーハにも適用できる。

【００５０】

【発明の効果】以上詳述したように、表面の自然酸化膜を除去したシリコンウエーハを急速加熱・急速冷却装置を用いて、水素１００％あるいは水素を１０％以上含有するアルゴンおよび／または窒素との還元性混合ガス雰囲気下で、比較的低温の熱処理を行うことにより、ウエーハ表面のマイクロラフネスを著しく低減させることができ、その結果酸化膜耐圧、キャリアの移動度等の電気特性に優れ、スリップ転位の発生や重金属汚染の殆ど無い、結晶性に優れたシリコンウエーハを得ることができ

ると共に、さらに歩留りと生産性の向上を図り、コストダウンを達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明における急速加熱・急速冷却装置を用いた熱処理過程の一例を示した図面である。

【図２】急速加熱・急速冷却装置における熱処理温度と熱処理後のマイクロラフネスＰ－Ｖ値との関係をシリコンウエーハ表面の自然酸化膜の有無および熱処理時間で層別して示した図である。

【図３】急速加熱・急速冷却装置における熱処理温度と熱処理後のマイクロラフネスＲＭＳ値との関係をシリコンウエーハ表面の自然酸化膜の有無および熱処理時間で層別して示した図である。

【図４】シリコンウエーハを急速加熱・急速冷却できる装置の一例を示した概略断面図である。

【図５】急速加熱・急速冷却装置における水素ガス濃度と熱処理後のヘイズとの関係を熱処理温度で層別して示した図である。

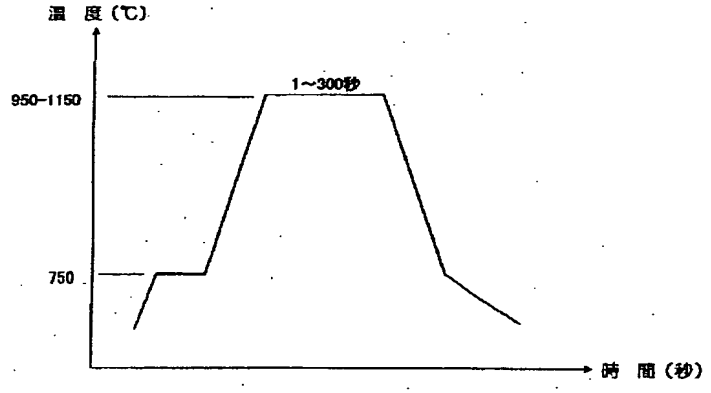
【図６】急速加熱・急速冷却装置における水素ガス濃度と熱処理後のマイクロラフネスＰ－Ｖ値との関係を熱処理温度で層別して示した図である。

【図７】急速加熱・急速冷却装置における水素ガス濃度と熱処理後のマイクロラフネスＲＭＳ値との関係を熱処理温度で層別して示した図である。

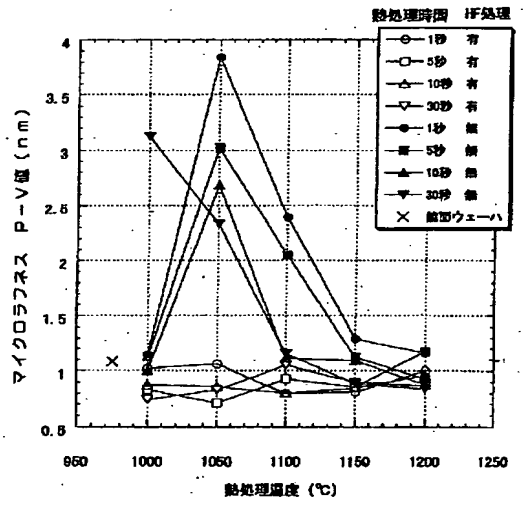
【符号の説明】

１…ベルジャ、２，２’…加熱ヒータ、３…ハウジング、４…水冷チャンバ、５…ベースプレート、６…支持軸、７…ステージ、８…シリコンウエーハ、９…モータ、１０…急速加熱・急速冷却装置。

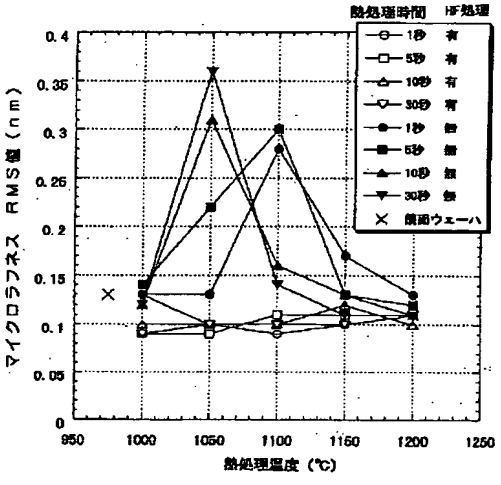
【図１】



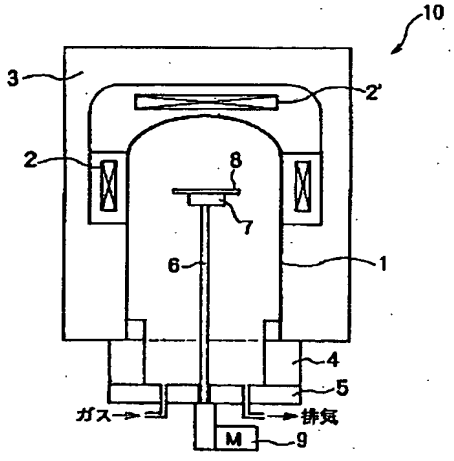
【図２】



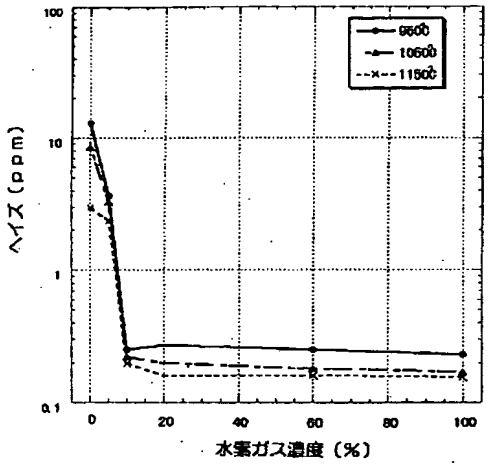
【図３】



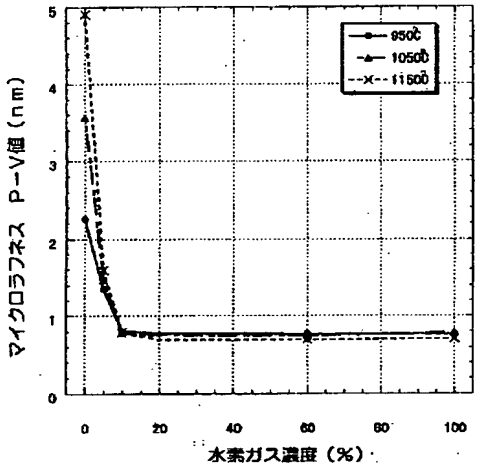
【図４】



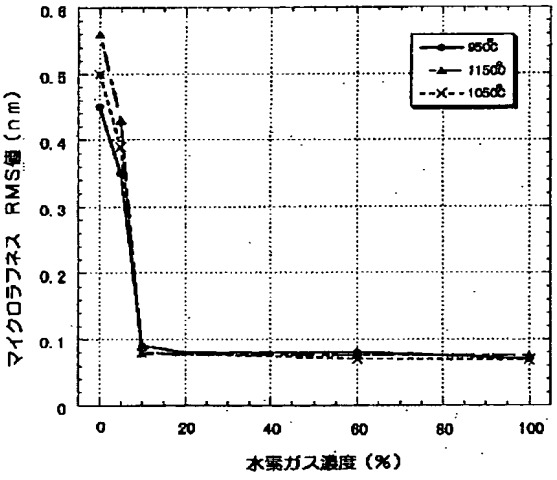
【図５】


ヘイズ（ppm）
水素ガス濃度（%）
950℃
1050℃
1150℃

【図６】


マイクロラフネス P-V値（nm）
水素ガス濃度（%）
950℃
1050℃
1150℃

【図７】


マイクロラフネス RMS値（nm）
水素ガス濃度（%）
950℃
1150℃
1050℃